

การประเมินผลกระทบของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนนต่อการเพาะปลูกข้าวด้วย

ภูมิสารสนเทศ

กรรณิการ์ แม้มูล¹ และ สวารินทร์ ฤกษ์อยู่สุข^{1*}

Evaluation of The Effect of Road Lighting System on Rice Cultivation Using

Geoinformatics

Kannika Maomool¹ and Sawarin Lerk-u-suke^{1*}

¹Geographic Information Science, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

*Corresponding author: sawarin.le@up.ac.th

Received: March 31, 2022; Revised: June 1, 2022; Accepted: June 10, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์และการประเมินผลกระทบของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนนต่อการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่บริเวณด้านข้างถนนอุบลี (พระอุบลีคุณูปมาจารย์) จังหวัดพะเยา ช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง 2563 โดยอาศัยการสร้างข้อมูลชี้พิกัดของข้าวจากการผสานข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 (Sentinal-2) ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบอนุกรมเวลาเพื่อติดตามการเพาะปลูกข้าวและประเมินผลกระทบของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนนต่อการเจริญเติบโตของข้าว การประเมินพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเชิงตำแหน่งอาศัยการจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised classification) จากข้อมูลภาพออร์โธจากอากาศยานไร้คนขับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจะมีค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ที่สูงยาวนานต่อเนื่องมากกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบ เนื่องจากกระบวนการออกดอกของข้าวล่าช้ากว่าปกติ เมื่อใช้ข้อมูลภาพออร์โธที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับคำนวณหาระยะห่างจากแนวเสาไฟฟ้าแสงสว่าง พบว่า แสงไฟประดิษฐ์ในช่วงกลางคืนของถนนยังส่งผลให้ข้าวออกรวงช้ามากกว่าปกติและสามารถส่งผลได้ไกลจากแหล่งกำเนิดแสง (บริเวณกึ่งกลางถนน) ถึง 50 เมตรหรือประมาณ 40 เมตรจากแนวไหล่ถนน ทำให้เกษตรกรประสบปัญหาในด้านการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยวผลผลิตและการบริหารจัดการ ข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้เกษตรกรและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถนำผลจากการศึกษาไปร่วมกันออกแบบทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้บนพื้นฐานของข้อเท็จจริงและหลักฐานเชิงประจักษ์

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพเชิงเลข, แสงไฟประดิษฐ์ในช่วงกลางคืน, มลภาวะของแสง, ข้อมูลชี้พิกัดของข้าว

¹ สาขาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

Abstract

This paper aims to analyze and assess the effect of the road lighting system on rice cultivation besides the Upali (Upalighunupamachan) Road, located in Dok Khamtai district, Phayao province, between 2018 and 2021. Rice phenology was created by fusing the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), derived from Sentinel-2 satellite imagery, with the time series analysis to monitor rice cultivation and to assess the effect of road lighting systems on the rice growth. A spatial impact assessment was conducted using an unsupervised UAV orthophoto classification. The result shows that the artificial night light delays the flowering time in rice cultivation, and it can be affected up to 50 meters from the road's centerline or 40 meters from the shoulder. There are farmers' problems in planting, harvesting, and management. This valuable information can help farmers and stakeholders to design the solution based on facts and empirical evidence.

Keywords: Digital Image Processing, Artificial night light, Light pollution, Rice phenology

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ในแต่ละปีปริมาณข้าวที่ผลิตได้ที่เกิดจากความต้องการบริโภคภายในประเทศ จะถูกส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ อาทิเช่น แอฟริกาใต้ จีน สหรัฐอเมริกา เบนิน ญี่ปุ่น แองโกลา อิรัก แคนเมอรูนและเยเมน เป็นต้น มูลค่าการส่งออกในแต่ละปีนั้นมีมูลค่าสูงติดอันดับโลกมาอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยส่งออกข้าวมากถึงกว่า 6 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าสูงถึง 100,000 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) พื้นที่เพาะปลูกข้าวรวม (นาปีและนาปรัง) ทั้งประเทศมีประมาณ 71 ล้านไร่ ผลผลิตที่ได้ประมาณ 31 ล้านตัน (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2565) ในจังหวัดพะเยานั้นได้มีการคัดเลือกให้ ข้าวหอมมะลิ เป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดและเกษตรกรเลือกการทำนาปลูกข้าวมากกว่าการเกษตรรูปแบบอื่น พื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งจังหวัดพะเยานั้นมีขนาดประมาณ 705,000 ไร่ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2553)

ถนนอุบลี (พระอุบลาคูณุปมาจารย์) เริ่มก่อสร้างเมื่อวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2561 ก่อสร้างแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ.2563 เป็นทางหลวงที่มีผิวจราจรแบบแอสฟัลติกคอนกรีตขนาด 4 ช่องจราจร มีเกาะกลางและระบบไฟฟ้าแสงสว่าง วัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้เป็นทางเลี่ยงตัวเมืองจากบริเวณแยกเกษตรสุขของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1 (ถนนพหลโยธิน) ไปเชื่อมกับถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1021 (ทางไปอำเภอดอกคำใต้) แนวถนนจะมุ่งไปตามทิศตะวันตกเฉียงใต้ตัดผ่านถนน อบจ.พย.ถ.10011 (บ้านสันจกปก) และถนนทางหลวงชนบทสาย พย.4015 (บ้านจำป่าหวาย) (สำนักงานประชาสัมพันธ์, 2563)

พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกในจังหวัดพะเยา คือ ข้าวหอมมะลิและข้าวเหนียว เนื่องจากความเหมาะสมของพื้นที่ ขายได้ในราคาสูง ประกอบกับมีคุณภาพสูงและมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ แนวโน้มความต้องการของตลาดเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105) ที่เป็นข้าวไวต่อช่วงแสง (Photoperiod sensitive variety) จึงสามารถปลูกได้เฉพาะฤดูนาปีเท่านั้น เกษตรกรในจังหวัดพะเยาสวนใหญ่จะนิยมปลูกข้าวในช่วงเดือนเมษายน – สิงหาคม โดยข้าวจะออกดอกในช่วงประมาณเดือนตุลาคม

และสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนเป็นต้นไป ช่วงที่สำคัญที่สุดของการเพาะปลูก คือ ช่วงออกดอกของข้าว (Flowering) โดยปริมาณของการออกดอกจะมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน ปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด คือ อุณหภูมิ และช่วงแสง ช่วงแสงที่ทำให้ข้าวกำเนิดช่อดอก คือ สภาพที่ต้องมีช่วงแสงสั้นกว่า 12 ชั่วโมงหรือจำนวนความยาวช่วงกลางวันอยู่ในระดับหนึ่งที่จะทำให้พืชมีการสร้างช่อดอกได้ ที่เรียกว่า ช่วงแสงวิกฤต (Critical day length) โดยถ้าช่วงแสงในพื้นที่เพาะปลูกมีจำนวนชั่วโมงมากกว่าค่าที่เหมาะสม จะทำให้ข้าวไม่ผลิตช่อดอกจนกว่าจะได้รับช่วงแสงต่ำกว่าช่วงแสงวิกฤต จึงจะสามารถกำเนิดหรือผลิตช่อดอกได้ (กมลินทร์ พรหมรัตน์รักษ์ และคณะ, 2548)

แสงไฟฟ้าประดิษฐ์ช่วงกลางคืน (Artificial night lighting) จากระบบไฟแสงสว่างแม้จะมีประโยชน์นานัปการ แต่ในบางบริบทนั้นก็อาจถือว่าเป็นผลภาวะได้ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตบนโลก ไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์หรือพืชพรรณส่วนใหญ่ล้วนแต่มีวิวัฒนาการภายใต้นาฬิกาชีวภาพ (Circadian clock) ที่อาศัยแสงจากดวงอาทิตย์ในกิจกรรมและการดำรงชีวิต แสงสว่างจะส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการทางชีวเคมี วงจรและกลไกการทำงานของร่างกาย ไปจนถึงการตอบสนองและพฤติกรรมที่แตกต่างในแต่ละช่วงเวลาของวัน ในส่วนของพืชพรรณนั้นมีการศึกษาพบว่า พืชบางชนิดจะผลัดใบเมื่อเจอแสงสว่างตอนกลางคืนหรือบางชนิดจะออกดอกในช่วงเจริญพันธุ์ผิดช่วงเวลาปกติ รวมถึงความสามารถในการเจริญเติบโตของพืชลดน้อยลงหากได้รับแสงสว่างในปริมาณที่น้อยหรือมากเกินไป (Chepesiuk, 2009) แม้ว่าระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ติดตั้งบนทางหลวง จะมีไว้เพื่อให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะและคนเดินเท้าสามารถมองเห็นลักษณะทางกายภาพของถนนรวมถึงสภาพข้างทางได้อย่างชัดเจนในเวลากลางคืนเมื่อแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เริ่มหมดไปเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้ถนน โดยความต้องการไฟฟ้าแสงสว่างนั้นจะแตกต่างกันในแต่ละบริเวณ คุณลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ สภาพการจราจรหรือความต้องการสื่อสารให้แก่ผู้ขับขี่ (กรมทางหลวง, 2554) ในอดีตนั้นการควบคุมระบบไฟฟ้าแสงสว่างบนถนนจะอาศัยมนุษย์ในการควบคุมสัญญาณเปิด-ปิดสัญญาณไฟ แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการควบคุมการเปิด-ปิดไฟแบบอัตโนมัติ (Automatic street light control) มาช่วยในการควบคุมระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนน ทำให้ในบางช่วงเวลาหรือบางเงื่อนไขของสภาวะแวดล้อมโดยรอบถนนจะมีการเปิด-ปิดไฟทางหลวงแบบอัตโนมัติที่ไม่แน่นอนแตกต่างไปตามช่วงเวลา ฤดูกาลหรือสภาพการณ์ของแต่ละวัน ทำให้การกระจายแสงด้านข้าง (Later light distribution) ไปยังพื้นที่รอบข้างของถนนนั้นอาจส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของมนุษย์ สัตว์หรือพืชพรรณที่อาศัยอยู่ในพื้นที่โดยรอบได้

ปลายปีพ.ศ. 2563 เกษตรกรในพื้นที่อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยาที่ได้ทำการเพาะปลูกข้าวพันธุ์ชั้นดี มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง อาทิเช่น ข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์กข 15 (RD 15) และกข 6 (RD6) บริเวณสองข้างทางของถนนอุบาสี (พระอุบาลีคุณูปมาจารย์) ระยะทางรวมกว่า 9 กิโลเมตร ได้รับความเดือดร้อนจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนน เนื่องจากการเจริญเติบโตของต้นข้าวไม่ตรงตามกำหนดการฤดูกาลเพาะปลูกปกติ โดยกลุ่มเกษตรกรคาดว่าปัญหาดังกล่าว เกิดจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนนทำให้ข้าวไม่ออกรวงตามระยะเวลาปกติธรรมชาติ (สำนักประชาสัมพันธ์พะเยา, 2563) ทำให้เกษตรกรได้รับความเดือดร้อนเนื่องจากต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับการบริหารจัดการที่เพิ่มขึ้น เช่น ค่าจ้างรถเกี่ยวและรถขนส่งสินค้าทางการเกษตร เป็นต้น

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาและประเมินผลกระทบของระบบไฟฟ้าแสงสว่างจากทางหลวงถนนอุบาสี (พระอุบาลีคุณูปมาจารย์) ต่อการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่รอบข้างสองฝั่งทาง โดยอาศัยการประเมินหาพื้นที่เพาะปลูกและคุณลักษณะของการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ผิดปกติจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลจากการ

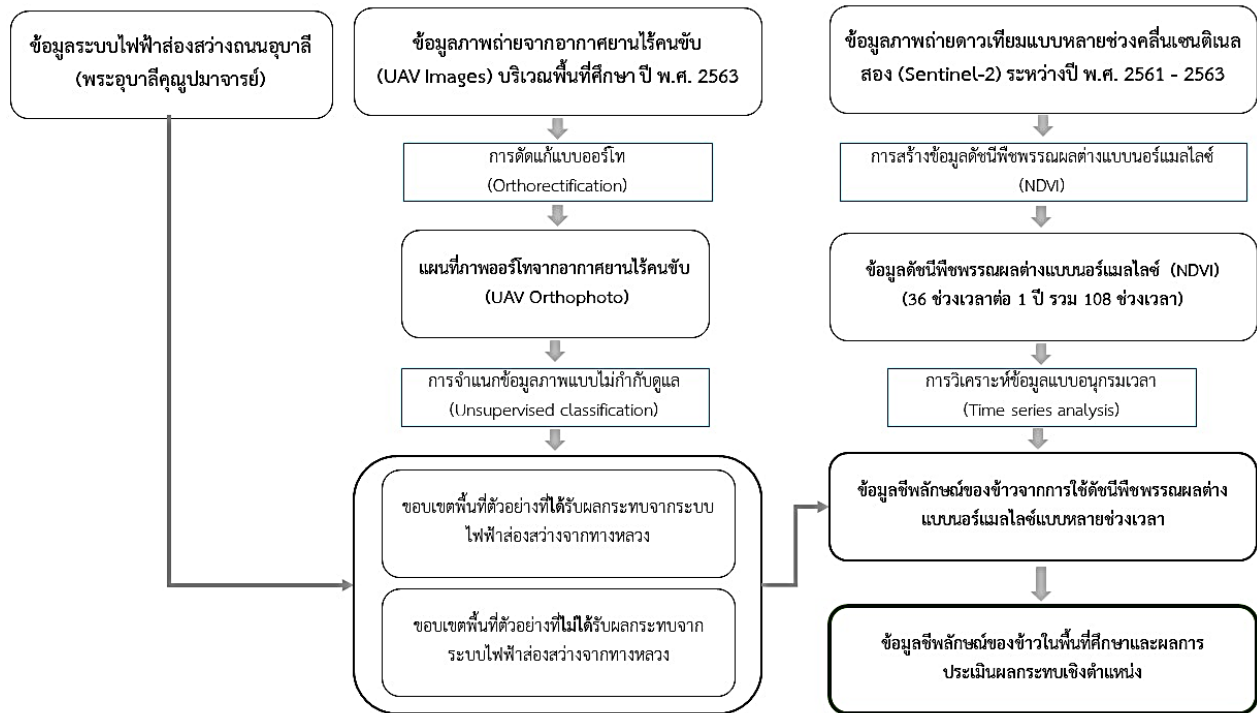
พิจารณาค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Different Vegetation Index – NDVI) (Chen et al, 2004) แบบหลายช่วงเวลาในการสร้างข้อมูลดัชนีพืชพรรณของข้าวในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อแสดงให้เห็นถึงความผิดปกติของการเจริญเติบโตของข้าวอันเนื่องมาจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างจากถนน และการประเมินพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบแบบความละเอียดทางตำแหน่งสูงจากข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายออร์โธจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV orthophoto) เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนแก้ไขปัญหา สนับสนุนการวางแผนและการตัดสินใจของเกษตรกรและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง รวมถึงความสามารถในการอธิบายและแสดงหลักฐานเชิงประจักษ์ได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ สามารถนำไปใช้อ้างอิงให้กับพื้นที่อื่น ๆ ที่มีการเพาะปลูกข้าวตลอดแนวของถนนที่จะก่อสร้างในอนาคต

วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของข้าวโดยอาศัยค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์และการสร้างข้อมูลดัชนีพืชพรรณของข้าวจากการประยุกต์ใช้งานการรับรู้จากระยะไกล
- 2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนนอุบลาสี (พระอุบลาสีคุณูปมาจารย์) และผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของข้าวบริเวณสองข้างทาง
- 2.3 เพื่อจำแนกพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยอาศัยข้อมูลแผนที่ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับระบบไฟแสงสว่างทางหลวง จากข้อกำหนดและมาตรฐานงานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวงของกรมทางหลวง เพื่อให้เข้าใจถึงคุณสมบัติและระบบการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ติดตั้งบนถนนอุบลาสี (พระอุบลาสีคุณูปมาจารย์) ศึกษาข้อมูลการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษาโดยอาศัยการสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวที่เพาะปลูก ช่วงเวลาการเพาะปลูกของเกษตรกรในพื้นที่โดยรอบตลอดแนวถนน ผลกระทบต่อการเพาะปลูกที่เกิดจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างจากถนน การศึกษาวิถีชีวิตของข้าว การประยุกต์ใช้งานดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ที่สร้างมาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral) ของดาวเทียมเซนติเนล 2 (Sentinel-2) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของข้าว (การสร้างข้อมูลดัชนีพืชพรรณของข้าว) ในพื้นที่ศึกษา การประเมินผลกระทบต่อการเจริญเติบโตช่วงก่อนและหลังจากการติดตั้งและใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างทางหลวง การประเมินผลกระทบเชิงตำแหน่งแบบความละเอียดสูงโดยอาศัยการทำแผนที่ข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ข้อมูลดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) เป็นอัตราส่วนดัชนีเชิงสเปกตรัม (Spectral Index Ratio) ที่อาศัยการผลานค่าการสะท้อนของวัตถุที่ตรวจวัดได้มากกว่า 1 ช่วงคลื่น (แบนด์) โดยการคำนวณนั้นจะอาศัยความแตกต่างของค่าการสะท้อนด้วยการหาอัตราส่วนและการหักออก (Subtraction) ระหว่างช่วงคลื่น เทคนิคนี้จะช่วยบ่งชี้หรือเน้นให้เห็นถึงวัตถุหรือปรากฏการณ์เฉพาะบางอย่างบนข้อมูลภาพให้ปรากฏเด่นชัดมากยิ่งขึ้น (Pohl, 2017) ในบางครั้งอาจเรียกว่า การหาส่วนต่างดัชนี (Index differencing) ในงานการรับรู้จากระยะไกลมักใช้งานร่วมกับการหาค่าผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ((Normalized Difference – ND) เช่น ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ค่าดัชนีหิมะผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Snow Index – NDSI) และค่าดัชนีความชื้นผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Moisture Index – NDMI) เป็นต้น การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) เนื่องจากนิยมใช้งานอย่างกว้างขวางสำหรับการศึกษาพฤติกรรมและคุณลักษณะของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นดิน (Meeragandhi et al, 2015; Bhandari et al, 2012; Jeevalakshmi et al, 2016, April; Shih et al, 2016) โดยนำค่าการสะท้อนของแต่ละช่วงคลื่น (แบนด์) มาทำการบวกและลบกัน หลังจากนำค่าที่ได้มาทำการหาสัดส่วนกัน (การหาร) อีกครั้งหนึ่ง ค่าของดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 (Betancourt et al, 2018) ดังสมการที่ 1 ดังนี้

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (\text{สมการที่ 1})$$

เมื่อ	NDVI	คือ ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์แมลไลซ์
	NIR	คือ ค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
	RED	คือ ค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่นแสงสีแดง

พื้นที่ที่มีพืชพรรณใบเขียวปกคลุมหนาแน่น ค่า NDVI จะมีค่าสูงเข้าใกล้ 1 และบริเวณที่ถูกปกคลุมด้วยพื้นผิวน้ำหรือบริเวณที่ไม่มีพืชพรรณใบเขียวปกคลุมจะมีค่าค่อนข้างต่ำหรือเข้าใกล้ 0 หรือต่ำกว่า 0 เนื่องจากมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ต่ำกว่าช่วงคลื่นแสงสีแดง

การสร้างข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (NDVI) นั้นจะดำเนินการแบบอนุกรมเวลา (หลายช่วงเวลา) ตั้งแต่ช่วงก่อนสร้างถนนอุบลี (พระอุบลาคัญปมาจารย์) (ปีพ.ศ. 2561-2562) จนถึงช่วงสร้างถนนเสร็จและมีการเปิดใช้งาน โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้นั้นจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2018) จนถึงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) โดยในแต่ละปีนั้นจะทำการคัดเลือกภาพที่ปลอดภัยเพื่อลดการเกิดเงาบนภาพที่จะส่งผลกระทบต่อค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (NDVI) ข้อมูลภาพเหล่านี้จะถูกบันทึก (ถ่ายภาพ) ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันตามรอบเวลาการโคจรของดาวเทียม ในแต่ละปีนั้นจะใช้ข้อมูลภาพปีละ 36 ภาพ รวมทั้งสิ้น 108 ภาพ (108 ช่วงเวลา) ครอบคลุมตลอดทั้งฤดูกาลทำนา หลังจากนั้นจะนำค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (NDVI) มาทำการสร้างกราฟแสดงข้อมูลซีฟลักซ์ของข้าวโดยอาศัยเทคนิคการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (Linear Interpolation) ด้วยวิธีการกรองแบบซาวิตสกีโกล (Savitzky-Golay filter) เพื่อเติมเต็มข้อมูลในช่วงเวลาที่ขาดหายไป วิธีการนี้มีจุดเด่น คือ 1) มีการใช้งานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทแบบอนุกรมเวลาที่ยาวนานในการเติมเต็มส่วนของข้อมูลที่ขาดหายไป 2) ผลกระทบจากเศษเหลือของสัญญาณรบกวน (Residual noise) ที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดเมฆ (Cloud detection errors) บนข้อมูลภาพค่อนข้างน้อย และ 3) ความไม่ซับซ้อนและสามารถนำไปปรับใช้งานได้บนกูเกิลเอิร์ธเอนจินแพลตฟอร์ม (Google Earth Engine - GEE) ทำให้สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของข้าวได้อย่างต่อเนื่องกัน (Chen et al, 2021)

ในส่วนของพื้นที่เพาะปลูกที่ได้รับผลกระทบจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างนั้นจะอาศัยการสำรวจและทำแผนที่ข้อมูลภาพจากการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับและการตัดแก้ข้อมูลภาพแบบออร์โธ หลังจากนั้นจะทำการจำแนกข้อมูลภาพแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised classification) เพื่อแบ่งแยกพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างแบบอัตโนมัติและทำการปรับแต่งขอบเขตพื้นที่ให้ราบรื่น (Smoothing) เพื่อขจัดความลำเอียงหรือข้อจำกัดอื่นใดจากการแปลตีความด้วยสายตาและทักษะของมนุษย์โดยผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือในโปรแกรมด้านภูมิสารสนเทศแบบเปิดเผยแพร่ (QGIS)

ผลการศึกษา

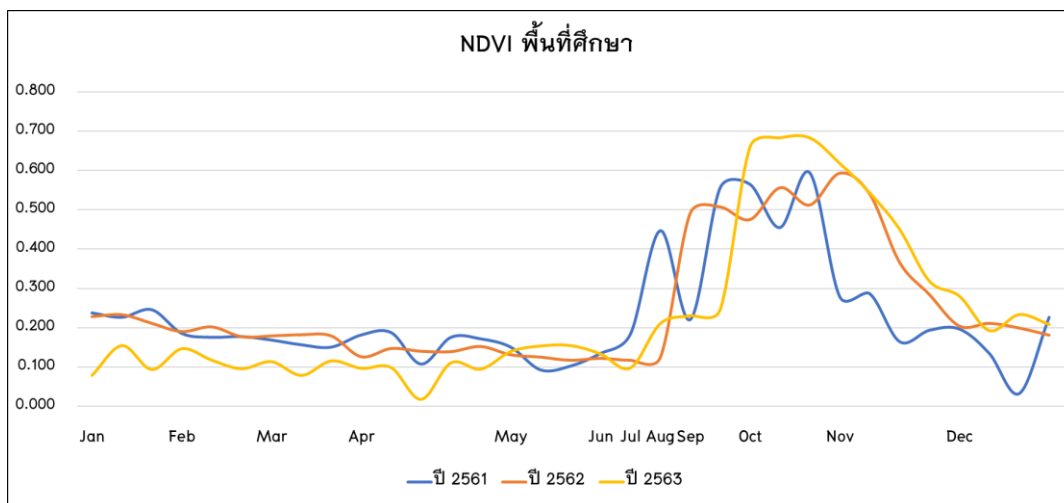
จากการทบทวนวรรณกรรมและสัมภาษณ์สอบถามข้อมูลจากเกษตรกรที่มีการเพาะปลูกข้าวจริงบริเวณสองข้างทางถนนอุบลี (พระอุบลาคัญปมาจารย์) ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 (ฤดูกาลเพาะปลูกปกติ) เกี่ยวกับพันธุ์ข้าวที่เพาะปลูกในฤดูกาล พ.ศ. 2563 พบว่า เกษตรกรได้เพาะปลูกข้าวพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้าหอม) และข้าวพันธุ์ กข 6 (ข้าวเหนียว) เป็นหลัก ข้าวทั้งสองพันธุ์ที่นิยมเพาะปลูกในพื้นที่นี้มีคุณสมบัติความไวต่อช่วงแสงกล่าว คือ หากได้รับแสงยาวนานมากผิดปกติในช่วงการออกดอก (ออกรวง) แล้วจะทำให้กระบวนการนี้มีพัฒนาการล่าช้ากว่าแปลงเพาะปลูกที่

ได้รับแสงปกติตามธรรมชาติ (ปกติแล้วชั้นตอนนี้จะเริ่มในช่วงเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้นหรือน้อยกว่า 12 ชั่วโมง) ทำให้ค่าการสะท้อนของพืชพรรณในพื้นที่ศึกษามีค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ที่สูงต่อเนื่องยาวนานมากกว่าแปลงเพาะปลูกที่ไม่ได้รับแสงสว่างจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างทางหลวง (ได้รับแสงปกติตามธรรมชาติ) จึงทำให้ไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้ตามห้วงเวลาปกติ (ไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้พร้อมกับข้าวปกติที่ไม่ได้รับผลกระทบ) การลงสัมภาษณ์เกษตรกรที่ได้รับผลกระทบในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 2 การสัมภาษณ์เกษตรกรที่ได้รับผลกระทบเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวที่เพาะปลูกในฤดูกาลปี พ.ศ. 2563

เกษตรกรในพื้นที่จะเริ่มเพาะปลูกข้าวในช่วงประมาณต้นเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคมเป็นต้นไป ทำให้ช่วงเวลานี้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ที่คำนวณได้ในพื้นที่ของทุกปีจะค่อนข้างต่ำเนื่องจากเกษตรกรได้ทำการเตรียมหน้าดินสำหรับการเพาะปลูกและมักไม่มีพืชพรรณปกคลุมดินในช่วงนี้ ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) จะเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงประมาณปลายเดือนกรกฎาคม – สิงหาคมเนื่องจากในระยะนี้เป็นช่วงที่ข้าวเริ่มแตกกอ จนมีค่าสูงมากในช่วงประมาณเดือนตุลาคมถึงต้นเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากเป็นช่วงที่ข้าวมีปริมาณใบมากและปกคลุมพื้นที่หนาแน่นมากที่สุด ก่อนที่จะเข้าสู่ช่วงตั้งท้องและออกรวงซึ่งทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) จะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องสาเหตุมาจากใบของข้าวจะเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีเหลืองทอง (ดังแสดงในรูปที่ 3) อย่างไรก็ตาม ในปีพ.ศ. 2563 ในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบนั้นจะยังคงมีค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) สูงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงช่วงเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคมเนื่องจากข้าวนั้นไม่เข้าสู่ช่วงตั้งท้องและออกรวงอันเนื่องมาจากข้าวที่เพาะปลูกนั้นได้รับแสงอย่างต่อเนื่องทั้งกลางวัน (ดวงอาทิตย์) และกลางคืน (จากระบบไฟฟ้าส่องสว่างของถนน) ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ในพื้นที่ศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2561 – 2563 แสดงดังภาพที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 3 ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ในพื้นที่ศึกษาระหว่างปีพ.ศ. 2561 – 2563

จากการสอบถามเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวง จังหวัดพะเยาและการศึกษาจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่า ถนนอุบาสี (พระอุบาสีคุณูปมาจารย์) มีการติดตั้งไฟแสงสว่างทางหลวงเพื่อให้แสงสว่าง โดยอาศัยสภาพแวดล้อมเป็นตัวกำหนดในการเปิด - ปิดระบบไฟแสงสว่างทางหลวงแบบอัตโนมัติ ประเภทของหลอดไฟที่ติดตั้ง คือ หลอดไฟโซเดียมความดันไอสูง เป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพ 70 – 130 ลูเมนต่อวัตต์ และมีความถูกต้องของสีดีกว่าหลอดไฟโซเดียมความดันไอต่ำ ร้อยละ 20 เหมาะสำหรับงานทางด้านความปลอดภัย ที่ไม่ใช่นานธูริก โดยการติดตั้งนั้นจะอยู่บริเวณกึ่งกลางถนนในส่วนองเกาะกลางถนนไปตลอดแนวถนนทั้งสาย ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวง

การประเมินพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบนั้นจะอาศัยการสำรวจและทำแผนที่ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับของพื้นที่ตัวอย่างที่ปรากฏ ซึ่งแสดงให้เห็นแปลงเพาะปลูกข้าวบริเวณสองข้างทางของถนนที่มีการเจริญเติบโตไม่พร้อมกันได้อย่างเด่นชัด โดยการสำรวจบินถ่ายภาพนั้นใช้อากาศยานไร้คนขับรุ่น มาวิค แอร์ (Mavic Air) ทำการบินถ่ายภาพเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 กำหนดความสูงบินในการถ่ายภาพที่ประมาณ 50 เมตรเหนือระดับพื้นดิน (Above ground) ได้ภาพจำนวนทั้งสิ้น 223 ภาพ ทำการตัดแก้แบบออร์โท (Orthorectification) ให้มีความละเอียดของจุดภาพเท่ากับ 0.02 เมตร (2 เซนติเมตร) โดยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการฉายซ้ำ (RMS reprojection error) เท่ากับ 0.2354 หรือประมาณ 0.83 จุดภาพ ข้อมูลภาพออร์โทที่ได้กำหนดให้อยู่ในระบบพิกัดกริดยูทีเอ็ม (UTM) เพื่อความสะดวกต่อการวัดความยาวและขนาดในระบบเมตริก หลังจากนั้นจะทำการจำแนกข้อมูลภาพด้วยวิธีการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลและปรับให้ราบรื่นโดยอาศัยโปรแกรมภูมิสารสนเทศ (QGIS)

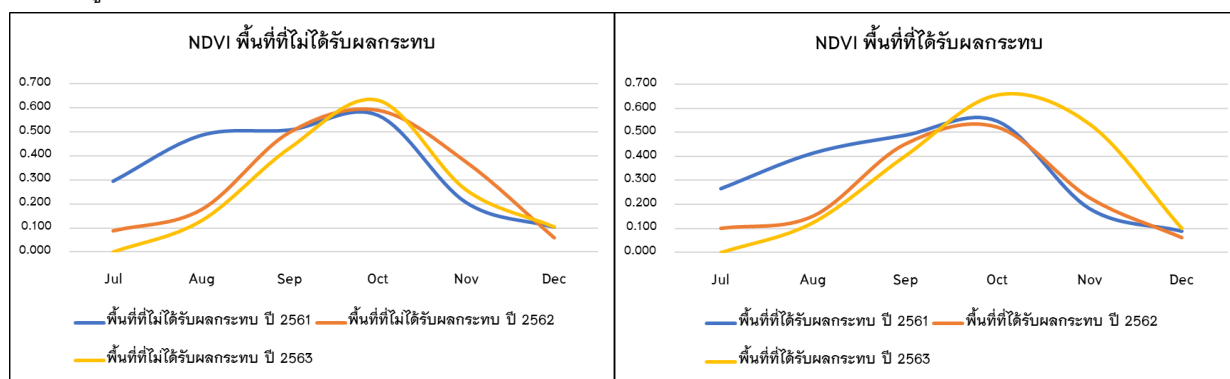
ความละเอียดเชิงตำแหน่งของข้อมูล (Spatial resolution) และความละเอียดเชิงคลื่นรังสี (Spectral Resolution) ข้อมูลภาพจากดาวเทียมและข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับที่มีความแตกต่างกันนี้ จะถูกนำมาพิจารณาในบริบทที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับแม้จะมีความละเอียดเชิงตำแหน่งที่สูงกว่าข้อมูลภาพดาวเทียมเซนติเนล 2 แต่เครื่องรับรู้ (Sensor) หรือกล้องถ่ายภาพจะบันทึกเฉพาะช่วงคลื่นที่อยู่ในช่วงสายตามนุษย์มองเห็นได้ (Visible spectrum) และยังถูกบีบอัดด้วยเทคนิคการแปลงโคไซน์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Cosine Transform – DCT) เพื่อให้ประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลภาพโดยอาศัยมาตรฐานไฟล์ข้อมูลภาพแบบเจเพก (JPEG) ส่วนข้อมูลภาพดาวเทียมเซนติเนล 2 นั้นมีจุดเด่น คือ มีการบันทึกข้อมูลในพื้นที่ศึกษายาวนานและต่อเนื่องทั้งช่วงก่อนการก่อสร้างถนนจนถึงกระทั่ง

การก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดใช้งาน แต่ข้อมูลนี้จะความละเอียดเชิงตำแหน่งน้อยกว่าหลายสิบเท่า ทำให้คณะผู้วิจัยเลือกการจำแนกพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ จากข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (ความละเอียดเชิงตำแหน่งสูงกว่า) ร่วมกับการจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแลเป็นหลัก ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดี คือ สามารถช่วยลดความลำเอียง (Bias) หรือข้อจำกัดบางประการของการจำแนกข้อมูลภาพแบบใช้สายตามนุษย์ ที่อาจมีภาวะพร่องการมองเห็นสี (Color blindness) หรือความเหนื่อยล้า (Fatigue) ได้ ข้อมูลภาพที่ได้จากการจำแนกพื้นที่ที่ได้รับและไม่ได้รับผลกระทบสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างรูปที่ 4 ดังนี้



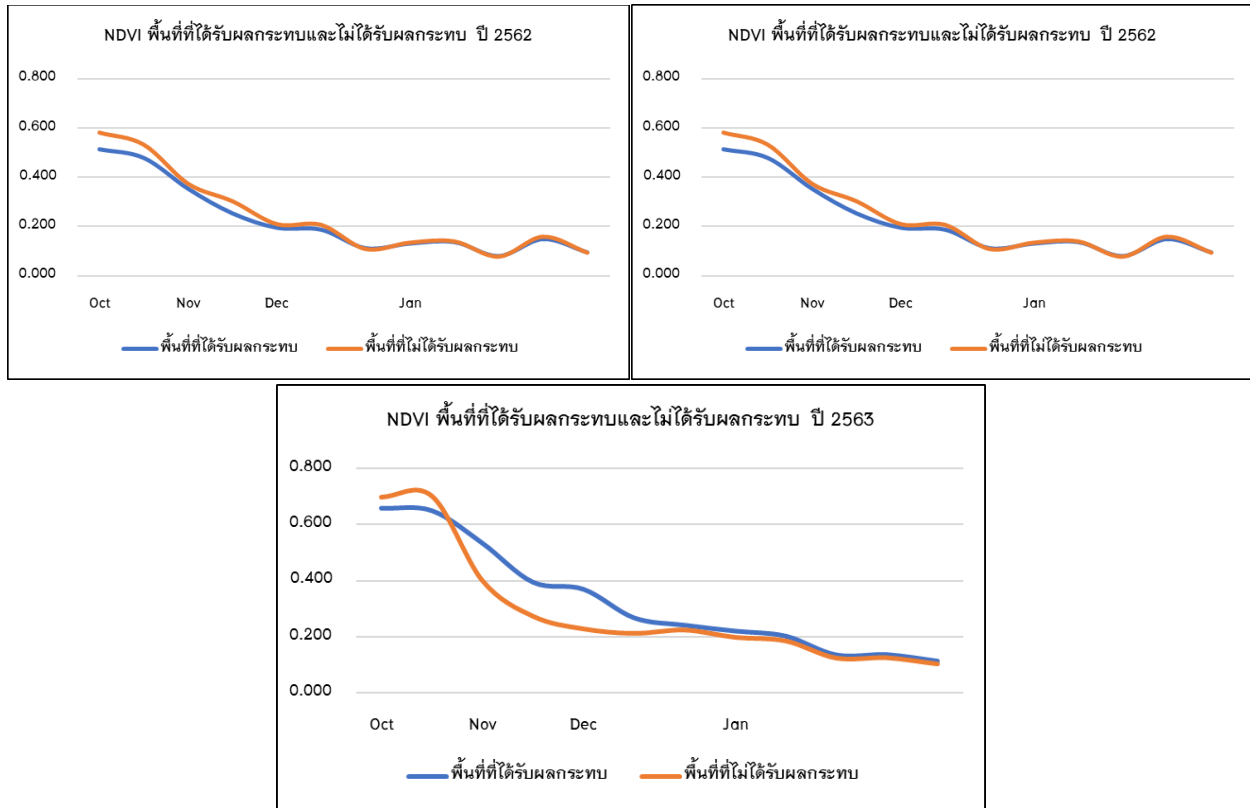
รูปที่ 4 ภาพพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (ซ้าย) ข้อมูลภาพออร์โทจากอากาศยานไร้คนขับ (กลาง)
ผลการจำแนกพื้นที่แบบไม่กำกับดูแล (ขวา)

เมื่อได้ขอบเขตของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ แล้วจะนำมาซ้อนทับกับข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) แบบอนุกรมเวลา (พ.ศ. 2561 – 2563) ในช่วงเวลาที่มีการเพาะปลูกข้าว (เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม) หลังจากนั้นจึงทำการสร้างกราฟโดยอาศัยการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นด้วยวิธีการกรองแบบซาวิสกีโกเล ดังแสดงในภาพตัวอย่างรูปที่ 5 และ 6 ดังนี้



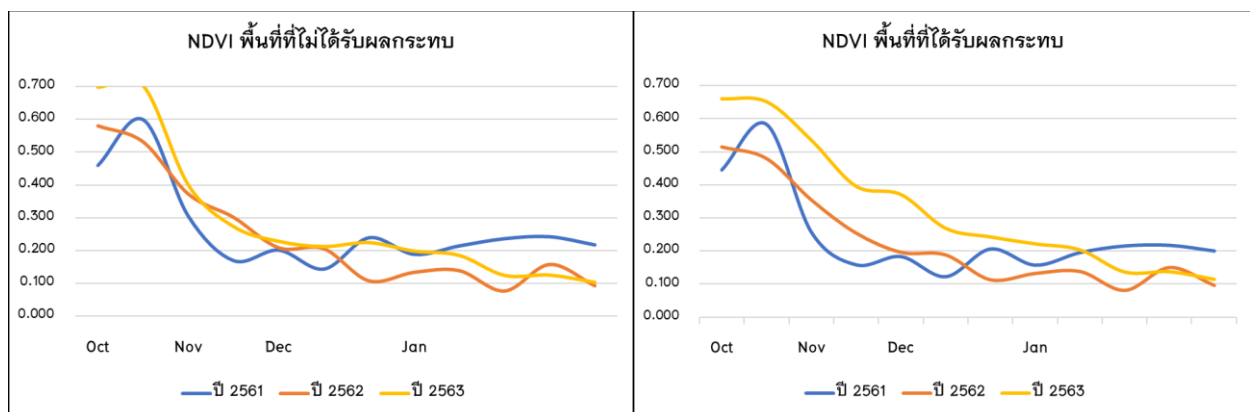
รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ตลอดช่วงฤดูกาลเพาะปลูกข้าว ระหว่างปีพ.ศ.

2561 – 2563



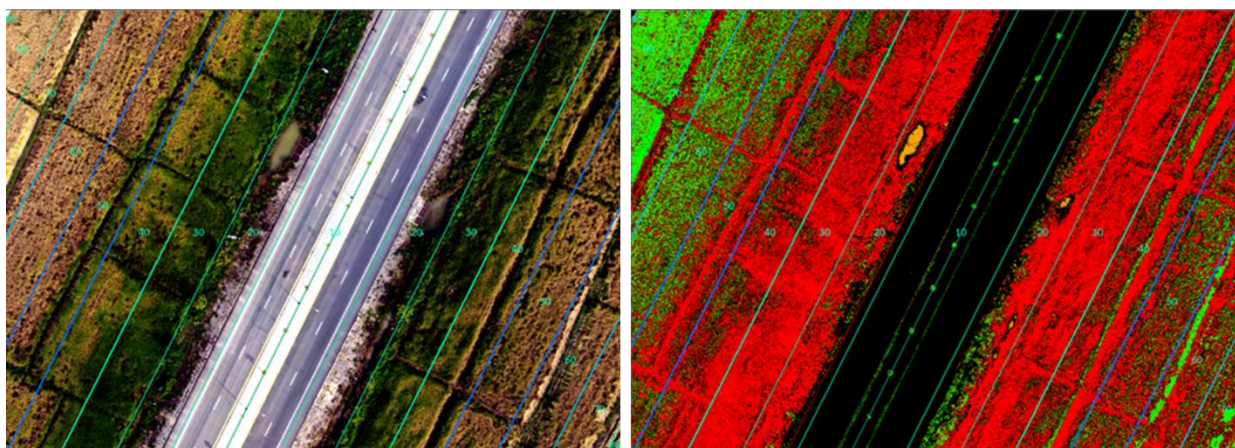
รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (NDVI) ช่วงข้าวเริ่มออกดอกถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต ระหว่างปีพ.ศ. 2561 – 2563

หากพิจารณาเฉพาะช่วงข้าวเริ่มออกดอก (ตั้งท้องและออกรวง) ไปจนถึงหลังเก็บเกี่ยว (ประมาณเดือนตุลาคมถึง ธันวาคม) จะพบว่า ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (NDVI) จะลดลงอย่างมาก เนื่องจากพื้นที่นั้นไม่มีความเป็นสีเขียวทั้งจากใบและลำต้นของข้าว ทำให้ค่าที่คำนวณได้ค่อนข้างต่ำ (เข้าใกล้ศูนย์) ต่างจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ข้าวนั้นยังไม่เกิดกระบวนการออกดอกทำให้ยังคงมีปริมาณใบปกคลุมหนาแน่นซึ่งส่งผลให้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (NDVI) ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 7 ดังนี้



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ในช่วงเริ่มออกดอกจนถึงหลังการเก็บเกี่ยว (ข้าว)
พื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบ (ขวา) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ระหว่างปีพ.ศ. 2561 – 2563

การประเมินผลกระทบเชิงตำแหน่ง (Spatial assessment) จะอาศัยการนำข้อมูลภาพออร์โธที่ได้จากการสำรวจและทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับมาทำการสร้างแนวเส้นสมมุติที่วัดจากเส้นกึ่งกลางถนน (Center line) ที่ได้มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างขนานออกไปทั้งสองด้านด้วยระยะทางเท่า ๆ กัน จากการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบนั้นจะเริ่มตั้งแต่แนวขอบถนนที่เกษตรกรได้ทำการเพาะปลูกข้าวขยายออกไปไกลถึงประมาณ 40 เมตรจากขอบข้างถนนหรือประมาณ 50 เมตรจากแนวกึ่งกลางของถนนและหากคิดเป็นพื้นที่ตลอดแนวถนนอุบลี (พระอุบลีคุณูปมาจารย์) ที่มีความยาวประมาณ 9 กิโลเมตร พบว่า อาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่มากถึง 720,000 ตารางเมตรหรือ 450 ไร่ ตัวอย่างการสร้างแนวเส้นสมมุติเพื่อการประเมินผลกระทบเชิงตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 8 ดังนี้



รูปที่ 8 การสร้างแนวเส้นสมมุติเพื่อการประเมินผลกระทบเชิงตำแหน่ง ภาพออร์โธจากอากาศยานไร้คนขับ (ซ้าย)
ข้อมูลการจำแนกพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบแบบไม่กำกับดูแล (ขวา)

สรุปและอภิปรายผล

จากการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการประเมินผลกระทบจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่มีผลกระทบต่อการเพาะปลูกข้าวบริเวณโดยรอบ ถนนอุบลี (พระอุบลีคุณูปมาจารย์) ได้อย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ เป็นการผสมการทำงานร่วมระหว่าง 1) เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) ในการบันทึกและสร้างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไปแปลตีความด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพเชิงเลขดิจิทัล (Digital Image Processing – DIP) 2) เทคโนโลยีการรังวัดด้วยภาพเชิงเลขดิจิทัล (Digital Photogrammetry) สำหรับการบินถ่ายภาพจากอากาศยานไร้คนขับและการตัดแก้แบบออร์โธเพื่อสร้างข้อมูลแผนที่ภาพ 3) เทคโนโลยีการกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System – GNSS) ในการกำหนดตำแหน่งให้แก่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ 4) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System – GIS) ในการประเมินหาพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างจากข้อมูลแผนที่ภาพถ่าย

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเหล่านี้สามารถนำมาปรับใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ของข้าวและสามารถประเมินผลกระทบได้อย่างชัดเจน บนพื้นฐานของวิธีการและหลักการทางวิทยาศาสตร์ สามารถนำไปใช้ในการประมาณการผลผลิตของข้าวที่จะเกิดของพื้นที่เพาะปลูกข้าวเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ได้มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ (Betancourt et al, 2018; Chen et al, 2021) นอกจากนี้การประยุกต์ใช้งานการสำรวจและทำแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับ (UAV mapping) ยังช่วยให้การติดตามการเจริญเติบโตของข้าวเป็นไปได้อย่างทันทั่วถึง ทันท่วงที ทันท่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการประยุกต์ใช้งานที่เริ่มได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลก (Wijesingha et al, 2015; Rosle et al, 2019, November)

แม้ว่าระบบไฟฟ้าแสงสว่างจากถนนในช่วงกลางคืนอาจสำคัญและจำเป็นสำหรับการเดินทางสัญจรของมนุษย์ที่ใช้ถนนในยามค่ำคืน แต่แสงไฟประดิษฐ์ (Artificial light) เหล่านี้ก็ถือว่าเป็นมลพิษทางแสง (Light pollution) ของข้าว (de Lima et al, 2021; Chen et al, 2014) และยังเป็นการเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายให้แก่เกษตรกรที่ทำการเพาะปลูกมาก่อนที่จะมีการก่อสร้างถนนด้วยเช่นกัน แม้ว่าจะสามารถยืนยันได้อย่างชัดเจนว่า ระบบไฟฟ้าแสงสว่างจากถนนนั้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของข้าวในช่วงการเก็บเกี่ยวตามปกติ แต่ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรุนแรง ความเข้มของแสงและทิศทางของแสงนั้นไม่ได้มีการศึกษา วิเคราะห์และประเมินผลในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ที่สนใจหรือต้องการทราบรายละเอียดของผลกระทบของแสงในเวลากลางคืนต่อการเจริญเติบโตของข้าวอย่างละเอียดและแม่นยำสูงสามารถศึกษาได้เพิ่มเติมจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Kurahara et al, 2022) และอาจทำการศึกษาถึงผลกระทบอย่างละเอียดเพิ่มเติมได้ในอนาคต

ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะช่วยให้เกษตรกรได้รับทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างจากทางหลวงในเชิงปริมาณ (ระยะทางและขนาดพื้นที่) สามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจเพาะปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไปในอนาคตได้เป็นอย่างดี เช่น การเปลี่ยนไปเพาะปลูกพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง (เป็นการเพิ่มต้นทุนหรือความซับซ้อนในการบริหารจัดการการเพาะปลูกหรือไม่) หรือประสานงานให้เจ้าหน้าที่ที่มีอำนาจในการควบคุมระบบไฟฟ้าแสงสว่างของทางหลวงเพื่อหาทางออกของปัญหาร่วมกัน (การปิดระบบไฟฟ้าแสงสว่างอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้เส้นทางในการเดินทางสัญจรหรือไม่)

อย่างไรก็ดี เทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้งานนั้น ยังมีข้อจำกัดและข้อพึงระมัดระวังในการใช้งานหลายประการที่ผู้นำข้อมูลไปใช้งานควรตระหนักและมีความเข้าใจในบริบทของข้อมูลก่อนนำไปปรับใช้ อาทิเช่น ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูล (Spatial accuracy) หรือความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งที่ตั้งของปรากฏการณ์ที่สนใจ ความละเอียดของช่วงเวลา (Temporal accuracy) หรือความถูกต้องทันสมัยของข้อมูลที่นำมาใช้งาน (คาบเวลาหรือความทันสมัยของข้อมูลภาพที่นำมาใช้งาน เพียงพอและเหมาะสมหรือไม่) ความละเอียดเชิงคลื่นรังสี (Spectral resolution) หรือความเหมาะสมทางคลื่นรังสีของอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งจากเครื่องรับรู้ (Sensor) บนดาวเทียมและคุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพของอากาศยานไร้คนขับในการนำมาปรับใช้ (เช่น ความยาวช่วงคลื่นหรือข้อจำกัดของการตรวจวัดด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น)

ผู้ที่สนใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในประเมินผลกระทบของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของถนนต่อการเจริญเติบโตของข้าวตลอดแนวดิน อาจพิจารณาเลือกใช้งานระบบบันทึกภาพแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Imaging System) ที่สามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) และช่วงคลื่นของแดง (Red Edge) มาปรับใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลซึ่งจะทำให้ทราบถึงผลกระทบได้อย่างละเอียดมาก

ยิ่งขึ้นทั้งในมิติของช่วงเวลา (Temporal resolution) ความละเอียดทางตำแหน่ง (Spatial resolution) และความละเอียดเชิงคลื่นรังสี (Spectral resolution)

เอกสารอ้างอิง

- กมลสินทร์ พรหมรัตน์รักษ์, ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร และ รังสฤษฎ์ กาวีตะ. (2548). อิทธิพลของช่วงแสงต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของปลายยอดข้าว. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: สาขาพืช* (น. 491-498). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมทางหลวง. (2554). *ข้อกำหนดมาตรฐานงานทั่วไปงานติดตั้งไฟฟ้าส่องสว่างบนทางหลวง*.
สืบค้นจาก <https://www.yotathai.com/yotanews/lighting-installation>.
- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2565). *ผลพยากรณ์การผลิตข้าว*.
สืบค้นจาก <http://www.thairiceexporters.or.th/production.htm>.
- สำนักงานประชาสัมพันธ์. (2563). *แขวงทางหลวงชนบทจังหวัดพะเยาพร้อมเปิดใช้งานถนนอุบาสี (พระอุบาสีคุณูปมาจารย์)*.
สืบค้นจาก https://region3.prd.go.th/region3_ci/topic/news/14931.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). *สถิติการส่งออก (Export)*.
สืบค้นจาก
http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2564&E_YEAR=2564&PRODUCT_GROUP=5250&wf_search=&WF_SEARCH=Y.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2553). *รายงานวิเคราะห์สถานการณ์จังหวัดพะเยา*.
สืบค้นจาก http://osthailand.nic.go.th/masterplan_area/userfiles/fileDownload/Report Analysis Province/รายงานวิเคราะห์สถานการณ์จังหวัดพะเยา.pdf.
- สำนักประชาสัมพันธ์พะเยา. (2563). *เกษตรกรผู้ปลูกข้าวตำบลจำป๋าวหาย อ.เมืองพะเยา ร้องข้าวไม่ออกรวงจากผลกระทบไฟส่องสว่างบนถนน ด้านหน่วยงานที่เกี่ยวข้องลงพื้นที่แก้ไขปัญหา*.
สืบค้นจาก <https://thainews.prd.go.th/th/news/detail/TCATG201027151715239>.
- Betancourt, M. & Zaira, M-R. (2018). Normalized difference vegetation index for rice management in El Espinal, Colombia. *DYNA*, 85, 47-56.
- Bhandari, A.K., Kumar, A., & Singh, G.K. (2012). Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Jabalpur City. *Procedia Technology*, 6(2012), 612-621.
- Chen, C., Huang, M., Lin, K., Wong, S., Huang, W. & Yang, C. (2014). Effects of Light Quality on the Growth, Development and Metabolism of Rice Seedlings (*Oryza sativa* L.). *Research Journal of Biotechnology*, 9, 15-24.
- Chen, J., Jönsson, P., Tamura, M., Gu, Z., Matsushita, B., & Eklundh, L. (2004). A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter. *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4).

- Chen, Y., Cao, R., Chen, J., Liu, L., & Matsushita, B. (2021). A practical approach to reconstruct high-quality Landsat NDVI time-series data by gap filling and the Savitzky-Golay filter. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 180, 174–190.
- Chepesiuk R. (2009). Missing the dark: health effects of light pollution. *Environmental health perspectives*. 117(1), A20–A27.
- de Lima, I. P., Jorge, R. G., & de Lima, J. L. P. (2021). Remote sensing monitoring of rice fields: Towards assessing water saving irrigation management practices. *Frontiers in Remote Sensing*, 2, 762093.
- Jeevalakshmi, D., Reddy, S. N., & Manikiam, B. (2016). Land cover classification based on NDVI using LANDSAT8 time series: A case study Tirupati region. In *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)* (pp. 1332–1335). IEEE.
- Kurahara, Y., & Itsubo, N. (2022). Quantitative Environmental Impact Assessment for Agricultural Products Caused by Exposure of Artificial Light at Night. In Z. S. Klos, J. Kalkowska, & J. Kasprzak (Eds.), *Towards a Sustainable Future – Life Cycle Management: Challenges and Prospects* (pp. 27–38). Cham: Springer International Publishing.
- Meeragandhi, G., bS.Parthiban, & A, cNagaraj. (2015). Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and gis – A case study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57(2015), 1199 – 1210.
- Pohl, C. & gendersen, J. V. (2017). Remote Sensing Image Fusion : A Practical Guide. Boca Raton: CRC Press.
- Rosle, R., Che'Ya, N. N., Roslin, N. A., Halip, R. M., & Ismail, M. R. (2019). Monitoring early stage of rice crops growth using normalized difference vegetation index generated from UAV. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 355, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.
- Shih, H–c., Stow, D. A., Weeks, J. R., & Coulter, L. L. (2016). Determining the Type and Starting Time of Land Cover and Land Use Change in Southern Ghana Based on Discrete Analysis of Dense Landsat Image Time Series. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(5), 2064–2073.
- Wijesingha, J. S. J., Deshapriya, N. L., & Samarakoon, L. (2015). RICE CROP MONITORING AND YIELD ASSESSMENT WITH MODIS 250m GRIDDED VEGETATION PRODUCT: A case study in Sa Kaeo Province, Thailand. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.